

3. Гашкова, В. И. Влияние солей алюминия на процесс растворения сульфата кальция / В. И. Гашкова, Е. И. Савинкова, В. Н. Десятник // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т. 65, № 1. – С. 80–84.

4. Гашкова, В. И. Влияние $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ на процесс обезвоживания фосфогипса и вяжущие свойства β -полугидрата сульфата кальция / В. И. Гашкова, В. И. Савинкова, В. Н. Десятник, Л. М. Теслюк. // Библиогр. указатель ВИНТИ «Депонированные науч. Работы» – Свердловск: УПИ, 1984. – 6 с.

5. Теслюк, Л. М. Активность воды в растворах кислот и сульфата кальция / Л. М. Теслюк, С. Ф. Катышев, В. Н. Десятник // Вестник УГТУ-УПИ. Серия химическая. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2003. – № 3 (23). – С. 38–43.

6. Ломовцева, С. Б. Определение электрокинетического потенциала на границе дигидрат сульфата кальция – раствор / С. Б. Ломовцева, Е. И. Савинкова, Т. И. Осипова // Библиогр. указатель ВИНТИ «Депонированные науч. Работы» – Свердловск: УПИ, 1980. – 8 с.

К. В. Хацевский,

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

The results of researches for the ore-smelting electrothermal furnaces for increase of efficiency of its work are considered in this article.

Рудовосстановительные электропечи (РВП) относятся к самым мощным потребителям электроэнергии в промышленности. Номинальные мощности эксплуатируемого электротехнологического оборудования такого типа, в особенности электропечей ферросплавного производства, достигает 100 МВА.

Поэтому решения проблем оптимизации режимов работы рудовосстановительных печей является важнейшим направлением работ не только в России, но и в других странах, где они эксплуатируются. Суммирование мощностей рудовосстановительных электропечей заводов

России, Казахстана и Украины показывает, что в России установлено рудовосстановительное оборудование мощностью более 1500 МВА, в Казахстане – 2900 МВА, в Украине – 1300 МВА. Такой уровень энергопотребления определяет особую актуальность проблемы оптимизации режимов эксплуатации РВП как с точки зрения глобальной экологической задачи ресурсосбережения, так и для решения частных задач – снижения себестоимости получаемых продуктов и использование РВП как регуляторов потребления электроэнергии в режимах ее избытка или дефицита в энергосистемах. Две указанных частных задачи связаны между собой, входят, как основополагающие в проблему ресурсосбережения и положены в основу постановки исследований РВП как обобщенного электротехнологического агрегата и создания системы управления электротехнологическими процессами в РВП в реальном времени [1].

Производство товарной продукции в современных РВП основано на комплексных электротехнологических процессах, которые определяются сложными нелинейными взаимосвязями электрических, термодинамических, химических, газо- гидродинамических параметров, самоустанавливающихся в рабочем пространстве электропечей. Сложность протекания взаимосвязанных процессов определила развитие теории РВП на основе критериев подобия, которые позволяют провести перерасчет параметров оптимальных квазистационарных режимов с номинальной мощностью «образцовой» электропечи для электропечей большей мощности с определением номинальных электрических параметров квазистационарного режима и, что особенно важно, новых геометрических размеров рабочего пространства и электродов для осуществления этих режимов. В теории РВП понятие «оптимальные режимы» неразрывно связано с геометрическими параметрами конкретного рабочего пространства электропечи, а работающая в оптимальных номинальных режимах электропечь при конкретных конструктивных решениях (диаметр электродов, диаметр распада электродов, диаметр и высота

электропечи и др.) и при снижении вводимой мощности обеспечивает режимы работы, отличающиеся от рассчитанных по теории подобия РВП.

Для развития теоретического понимания возможных изменений электротехнологических процессов в конкретной электропечи при снижении вводимой мощности нами приняты в качестве исходных основные положения самоорганизации электро- и тепломассообмена, установленные в теории РВП для квазистационарных номинальных режимов. В рабочем пространстве РВП выделяют четыре области преобразования электрической энергии в тепловую: газоплазменная полость – электрическая дуга в подэлектродном пространстве (фазное сопротивление R_d), стенки реакционного тигля (фазное сопротивление R_T), шихта между электродами (линейное сопротивление $R_{ш}$) и шихта между электродами и стенкой футеровки (обобщенное линейно-фазное сопротивление $R_{ст}$). Сложность рассматриваемой задачи определяется не только многофункциональностью внутренних взаимосвязей в рабочем пространстве электропечей, но и разнообразием продуктов, для производства которых созданы промышленные электропечи.

Для обобщения комплексных рудовосстановительных процессов, создания систем управления оптимальных режимов при изменении электротехнических факторов (тока и напряжения) и технологических факторов (соотношений подаваемых основной шихты, восстановителя и др.) необходимо рассмотреть основные принципы, положенные в основу создания отечественных РВП и обеспечивающих конкурентоспособность этих электропечей на мировом рынке.

Как известно, к рудовосстановительным электропечам относятся электротехнологические установки, объединенные основной конечной целью – за счет прямого нагрева электрическим током в этих печах производится восстановление из руд минералов основного и сопутствующих элементов углеродом или расплавление руд с целью гомогенизации или сегрегации их составляющих. Большая обобщенность приведенной характеристики потребовала конкретизации. Поэтому в излагаемом исследовании рассматривается оборудование с производительностью в десятки и сотни тысяч

тонн в год для производства ферросилиция, феррохрома, кристаллического кремния, силикомарганца, силикокальция, ферромарганца, фосфора, медного и медно-никелевого штейна, синтетического и сварочного флюсов и т. д.

Для выявления определяющих взаимосвязей параметров электро- и теплофизических процессов был проведен качественный анализ процессов в пространственно-распределенной трехфазной системе преобразования электрической энергии в тепловую, которая реализуется в обобщенной РВП [2]. Анализ экспериментальных результатов исследования промышленных РВП показал, что фактическое формирование электрических и магнитных полей в рабочем пространстве электропечей определяется соотношением фазных и линейных объемно распределенных активных и реактивных электрических сопротивлений. Полное описание такой системы электрической схемой замещения с сосредоточенными параметрами практически невозможно из-за неопределенности и резко выраженных нелинейностей сопротивлений, их взаимосвязей и многофункциональности зависимостей локальных параметров в объеме рабочего пространства.

1. Хацевский, К. В. Особенности эксплуатации рудовосстановительной электропечи при снижении вводимой мощности / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко, В. Ф. Хацевский // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2012. – № 4(19). – С. 23–28.

2. Хацевский, К. В. Современные энергосберегающие технологии и установки электронагрева [монография] / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко, В. Ф. Хацевский. – Павлодар: Изд-во Кереку, 2014. – 166 с.